

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

---

# **Frézovací hlava pro FEA**

## **Milling Head for FEA**

STUDENT:

David Režňák

VEDOUCÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:

Ing. Oldřich Učeň, PhD.

Ostrava 2014

## Zadání bakalářské práce

Student: **David Režňák**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení  
Specializace: 21 Konstrukce výrobních strojů a zařízení  
Téma: **Frézovací hlava pro FEA  
Milling Head for FEA**

### Zásady pro vypracování:

Navrhněte frézovací hlavu pro obrábění nádoby dle normy FEA. Úkolem frézovací hlavy je kompletní obrobení nádoby po výrobě polotovaru tvářením. Výrobní dokumentace zpracována v rámci bakalářské práce bude použita pro výrobu prototypu.

### Vypracujte:

1. Technickou zprávu s popisem funkce navrhovaného zařízení se všemi nezbytnými výpočty.
2. Konstrukční návrh frézovací hlavy pro FEA.
3. Pevnostní kontrolu důležitých uzlů.
4. Kompletní výrobní dokumentaci navrhovaného zařízení.

### Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910. *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.  
NĚMČEK, M.: *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů*. 2. vydání. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1782-8.  
Literární rešerše zpracovaná v rámci Ročníkového projektu  
Podklady firmy MORAVIA CANS, a.s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Oldřich Učeň, Ph.D.**

Datum zadání: 17.02.2014

Datum odevzdání: 19.05.2014



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

+ DODATAEK OD SPOLEČNOSTI + PODĚKOVÁNÍ DOPSAT NA DALŠÍ STRÁNCE

V Ostravě .....

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....

.....

Podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

David Režňák

Adresa trvalého bydliště autora práce:

Boršice u Blatnice 171, 68763

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Režňák, D. *Frézovací hlava pro FEA: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2014, 58 s.  
Vedoucí práce: Učeň, O.

Bakalářská práce se zabývá návrhem frézovací hlavy FEA. Tato hlava se používá při výrobě aerosolových lahvíček a je využívána na konci procesu při závěrečném tvarování hrdla. Cílem této práce je zkonstruovat universální ořezávací hlavu, která bude schopna vykonávat dvě operace současně. Konstrukce hlavy je navržena pro využití dvou držáků plátků. První operace je frézování výšky a tloušťky stěny hrdla. Druhá operace provádí frézování lemu lahvičky.

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

Režňák, D. *Milling head for FEA: Bachelor thesis*. Ostrava: VSB - Technical University of Ostrava, Faculty of Engineering, Department of Production Machines and Design, 2014, 58 p Supervisor: Učeň, O.

The bachelor thesis deals with the design of milling heads FEA. This head is used in the manufacture of aerosol bottles and is used at the end of the process for the final shaping of the throat. The aim of this work is to construct a universal milling head, which will be able to carry out two operations at the same time. The construction of the head is designed for the use of the two holders of the slices. The first operation is cutting height and thickness of the walls of the throat. The second operation is carried out by milling the rim of the bottle.

# Obsah

<b>1. Úvod</b>	<b>9</b>
<b>2. Postup při výrobě aerosolové nádoby</b>	<b>10</b>
<b>3. Frézovací hlava pro FEA</b>	<b>16</b>
3.1. Návrh hlavy pro držáky SK plátek .....	16
3.2. Návrh držáku č. 1.....	17
3.3. Návrh držáku č. 2 .....	17
3.4. Středící pouzdro .....	18
3.5. Středová hřídel .....	18
3.6. Nastavovací element .....	19
3.7. Výsledné frézovací hlavy .....	19
<b>4. Pevnostní výpočty</b>	<b>20</b>
4.1. Pevnostní výpočty šroubu M5.....	20
4.2. Pevnostní výpočty šroubu M8.....	25
4.3. Pevnostní výpočet pera .....	28
<b>5. MKP ANALÝZA</b>	<b>32</b>
5.1. Držák č. 1 .....	32
5.2. Držák č. 2.....	35
5.3. Závěr MKP analýzy.....	38
<b>6. Závěr</b>	<b>39</b>
<b>7. Přílohy</b>	<b>41</b>
<b>8. Zdroje</b>	<b>42</b>

## Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Název	Jednotka
$d$	Velký průměr závitu šroubu	[mm]
$D_1$	Malý průměr závitu matice	[mm]
$d_2$	Střední průměr závitu šroubu	[mm]
$d_3$	Malý průměr závitu šroubu	[mm]
$d_c$	Celkový průměr ořezávací hlavy	[mm]
$d_p$	Průměr hřídele, na které je pero nasazeno	[mm]
$F_c$	Celková síla působící na ořezávací hlavu	[N]
$F_d$	Dostředivá síla držáku	[N]
$F_o$	Odstředivá síla	[N]
$F_p$	Síly působící mezi perem a drážkami	[N]
$F_t$	Síla působící na pero	[N]
$f_z$	Součinitel smykového tření závitu	[-]
$h$	Výška matice	[mm]
$H_1$	Nosná hloubka závitu	[mm]
$K_s$	Součinitel bezpečnosti	[-]
$l$	Délka celého pera	[mm]
$l'$	Délka přímé části pera	[mm]
$L_{zc}$	Délka závitu při upnutí ořezávací hlavy	[mm]
$L_{zt}$	Nejkratší délka závitu u držáku plátků	[mm]
$m_d$	Hmotnost držáku plátků	[kg]
$M_k$	Krouticí moment	[Nm]
$n$	Otáčky motoru	[ot/min]
$P$	Výkon motoru	[kW]
$P_D$	Dovolený měrný tlak	[MPa]
$P_h$	Stoupání závitu	[mm]
$P_p$	Tlak působící na pero a drážku pro pero	[Mpa]
$r_d$	Vzdálenost těžiště držáku	[mm]
$R_e$	Mez kluzu v tahu	[MPa]
$S$	Plocha, na kterou síla působí	[mm <sup>2</sup> ]
$t$	Hloubka drážky	[mm]
$t_1$	Hloubka drážky v náboji	[mm]
$v_d$	Rychlost otáčení držáku	[m/s]
$z$	Počet závitů	[-]
$z_p$	Potřebný počet závitů	[-]
$\beta$	Úhel profilu metrického závitu	[°]

Značka	Název	Jednotka
$\pi$	Ludolfovo číslo	[-]
$\sigma_{\text{red}}$	Redukované napětí	[MPa]
$\sigma_t$	Napětí v tahu	[MPa]
$\tau_d$	Dovolené smykové napětí	[Mpa]
$\tau_k$	Napětí v krutu	[MPa]
$\tau_s$	Skutečné smykové napětí	[Mpa]
$\phi'$	Třecí úhel závitu	[°]
$\psi$	Úhel stoupání závitu	[°]
$\omega$	Úhlová rychlost	[rad/s]



## 1. Úvod

Bakalářská práce zabývající se konstrukcí a návrhem frézovací hlavy FEA. Práce byla vytvořena ve spolupráci s firmou, která vyrábí aerosolové lahvičky. Úkolem práce bylo vytvořit universální ořezávací hlavu pro výrobu lahvičky. Hlava má za úkol ořezat hrdlo na správnou šířku a výšku, před olemováním. Potom by ořezávací hlava měla upravit i olemované hrdlo na správný rádius. Olemované hrdlo se frézuje kvůli tomu, aby po naplnění lahvičky dokonale těsnilo. Toto vše by mělo být možné jednou frézovací hlavou a výměnou držáků plátků.

## 2. Postup při výrobě aerosolové nádoby

První se lisují kaloty (Obr. 2), nebo se volí alternativní možnost jiného výrobce. Na vylisovaném materiálu (kalota Obr. 2) se kontroluje tloušťka a průměr. Když tyto hodnoty souhlasí s normou, nasypou se do zásobníku.

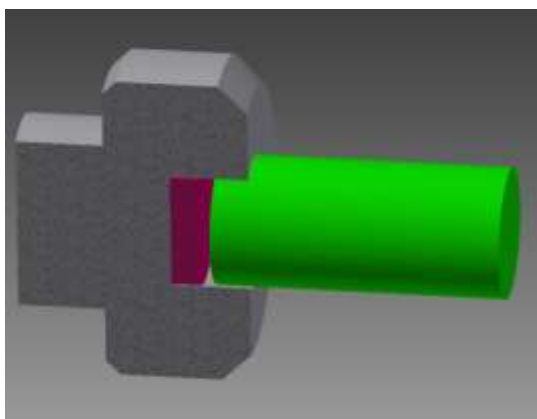


Obr. 1: Kalot [1]

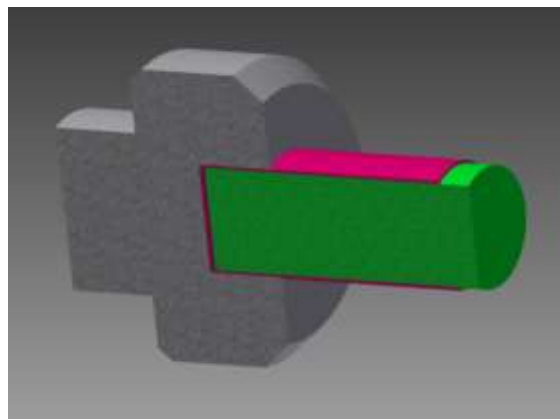


Obr. 2: Výroba kalotů [2]

Ze zásobníku kalot putuje do omílecího bubnu, do kterého se přidá mazivo a kalota se namaže. Podle hmotnosti kaloty se volí mazivo. Za předpokladu, že kalota je těžší volí se vlhčí mazivo a když je lehčí volí se suché mazivo. Namazaná kalota putuje po pásu do lisu, kde je dána do formy (Obr. 3) a pístem je kalota vytlačena do tvaru lahvičky (Obr. 4). Lisování lahvičky probíhá na jeden tah. Tato operace se koná za studena.



Obr. 3 Kalota před lisováním



Obr. 4 Vylisovaná kalota (lahvička)

Po vylisování je výlisek automaticky vydělán z formy a putuje k ořezání. Výlisek je uchopen za vnější tvar a začne se otáčet. Otáčející výlisek putuje k noži, kde je zkrácen na potřebnou délku (Obr. 5).



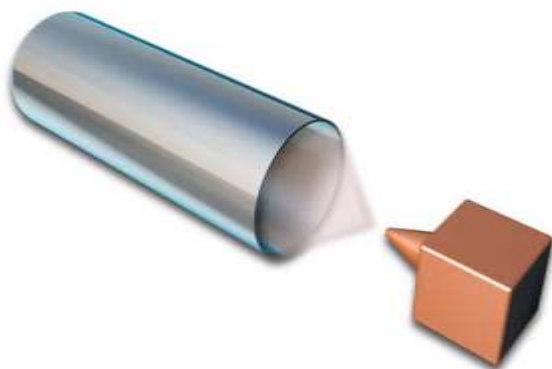
Obr. 5: Zkrácená lahvička [2]

Ořezaný výlisek je dán na dopravník, po kterém jde do komory, kde trysky lahvičku chemicky očistí (Obr. 6) od maziva a jiných nečistot. Odmaštěný výlisek jde po dopravníku, kde je osušen tlakem vzduchu (Obr. 6) nebo se samostatně usuší.



Obr. 6 Odmašťování a sušení lahvičky [2]

Když je lahvička suchá putuje na vnitřní lakování (Obr. 7). Lakování slouží k tomu, aby byla lahvička povrchově chráněna zevnitř před náplní. Po nástřiku jde do pece, kde se lak vypálí (Obr. 8).



Obr. 7 Vnitřní nástřik lahvičky [2]



Obr. 8 Pec [2]

Vypálený výlisek pokračuje po dopravníku na základní nátěr, který je proveden navalováním. Na otáčející válec je nanášena bílá barva. Výlisek je uchycen za vnitřní průměr a putuje k válci se základní barvou (Obr. 9). Díky tomu, že se válec otáčí, se na celou lahvičku nanese rovnoměrná vrstva barvy. Natřená lahvička je dopravena do pece, kde se základní nátěr vypálí (Obr. 8).



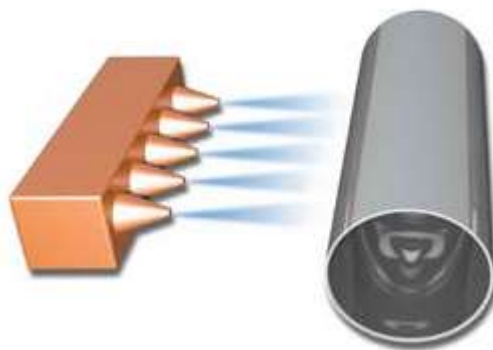
Obr. 9 Navalovací válec [2]

Když je základní nátěr vypálený, putuje na potisk (ten si volí sám odběratel). Potisk lahvičky se dělá stejnou metodou jak základní nátěr, pouze výjimka je, že barvu na lahvičku nanáší více válců. Maximální počet barev při potisku je čtyři. Jakmile je reklamní potisk nanesen na lahvičku (Obr. 10), znovu putuje do pece, kde se vypálí (Obr. 8).



Obr. 10 Potisk [2]

Po vypálení se musí na lahvičku nanést bezbarvý lak (Obr. 11), který zabrání rozmazání barev a ochrání zevnějšek lahvičky a potom putuje do pece (Obr. 8).



Obr. 11 Lakování lahvičky [2]

Jakmile je lahvička vypálená, jde přes vizuální kontrolu, aby se zamezilo průchodu lahvičky se špatným potiskem. Je-li lahvička v pořádku, zůstane na dopravníku a putuje k dalším úpravám. Další úpravou je tvarování do požadovaného tvaru. Lisuje se na více stupňů, protože by se mohla lahvička poškodit nebo špatně vylisovat. Tvar si volí odběratel sám.

První stupeň je před tvarování lahvičky (Obr. 12). Lahvička získá siluetu, která je podobná hotové, ale nemá ještě ty správné rozměry. Kdyby se tvarovala najednou, mohly by vzniknout trhliny, vrypy nebo by se mohla bortit. Druhý stupeň je dotvarování. Lahvička získává konečný tvar a ostré rohy (Obr. 12). Jediné hrdlo putuje na další úpravu.



Obr. 12 Postupné tvarování lahvičky

Poslední operací je tvarování hrdla. První se hrdlo ořízne na požadovanou délku a pak ztenčí tloušťka stěny lahvičky (Obr. 13).



Obr. 13 Ořezaná délka a tloušťka lahvičky

Když jsou tyto operace hotové, tak se hrdlo olemuje (Obr. 14, Obr. 15). U některých lahviček se obrábí i olemované hrdlo. To se dělá na přání odběratele. Hotová lahvička putuje přes senzor, který kontroluje, zda je lem v pořádku. Pak se lahvičky zabalí a odešlou odběrateli k plnění.



Obr. 14 Olemované hrdlo



Obr. 15 Hotová lahvička

### 3. Frézovací hlava pro FEA

Při návrhu frézovací hlavy FEA jsem vycházel ze starší varianty hlavy, která se využívá jen při obrábění délky a tloušťky hrdla. Tato hlava nebyla mechanicky nastavitelná. Nastavování hlavy probíhalo pomocí podložek, které musely být broušeny, aby bylo dosaženo přesných rozměrů při frézování.

#### 3.1. Návrh hlavy pro držáky SK plátků

Při konstrukci hlavy držáku byl kladen důraz na to, aby byla universální a mohly se do ní upnout dva druhy držáků. Další požadavek byl, aby byly držáky mechanicky nastavitelné jak výškově tak i průměrově.



Obr. 16 Ořezávací hlavička



### 3.2.Návrh držáku č. 1

U držáku č. 1 jsem musel dodržet tyto kritéria. Když se frézuje hrdlo, musí mít břit nastavitelnou výšku od 7,5 mm do 9 mm. Musí být taky nastavitelná tloušťka stěny lavičky od 0,45 mm do 0,7 mm. Vzdálenost SK plátku od středícího pouzdra nesmí být větší jak 0,5mm. Uchycení držáku na hlavu bude provedeno šroubem.



Obr. 17 držák č. 1

### 3.3.Návrh držáku č. 2

Držák č. 2 jsem musel zkonstruovat podle výkresové dokumentace pro rádius hrdla lahvičky. SK plátek musí být uchycen pod určitým úhlem, aby se dosáhlo správného frézovacího úhlu. Vzdálenost plátku od středícího pouzdra musí být 0,3- 0,5 mm. Uchycení držáku na frézovací hlavu jsem provedl šroubem.



Obr. 18 Držák č. 2

### 3.4. Středící pouzdro

Průměr pouzdra musí mít velikost vnitřního průměru lahvičky. Na pouzdru bude náběhová hrana pro lepší nasunutí lahvičky. Uložení pouzdra je na dvou ložiscích, které budou zajištěny rozpěrným kroužkem.



Obr. 19 Středící pouzdro

### 3.5. Středová hřídel

Středová hřídel bude spojena s hlavou a rotační pohyb bude zajištěn přes pero. Spodní hrana středícího pouzdra bude vzdálena od těla  $5,5 \pm 0,1$  mm. Středící pouzdro bude zajištěno na hřídeli samojistící maticí. Ve spodní části, bude díra se závitem pro uchycení ořezávací hlavy k pohonu.



Obr. 20 Středová hřídel

### 3.6. Nastavovací element

Element musí být posuvný a mít určité stoupání, kterým dosáhneme nastavení od 0,45 mm do 0,7 mm. Posouvání elementu budou zajišťovat stavěcí šrouby.



Obr. 21 Nastavovací element

### 3.7. Výsledné frézovací hlavy

Výsledné verze nastavitelný frézovacích hlav pro FEA.



Obr. 22 Frézovací hlava (délka a tloušťka hrdla před olemováním)

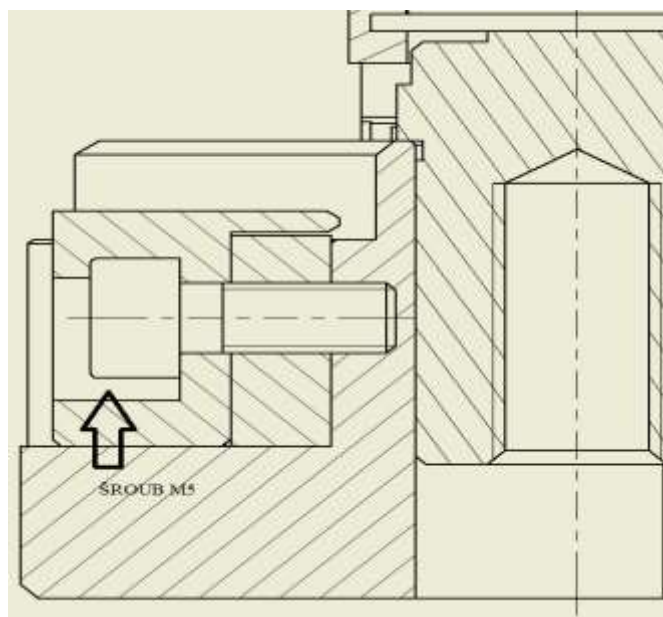


Obr. 23 Frézovací hlava (olemované hrdlo)

## 4. Pevnostní výpočty

### 4.1. Pevnostní výpočty šroubu M5

Tento šroub drží držáky plátek připevněné k hlavě. Vypočítáme, jestli vydrží na odstředivou sílu působící na držák (Obr. 24).



Obr. 24 Pozice šroubu M5

Výpočet úhlové rychlosti ( $n=2500$  ot/min)

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot 2500}{60}$$

$$\omega = \underline{261.8 \text{ rad/s}}$$

$\omega$  – úhlová rychlost [ $\text{rad/s}$ ],  $n$  – otáčky motoru [ $\text{ot/min}$ ],  $\pi$  – Ludolfovo číslo

Výpočet odstředivé síly ( $m_d = 0,039$  kg,  $r_d = 24,6$ ) hodnoty zjištěny v Autodesk Inventor

$$F_o = m_d \cdot \omega^2 \cdot r_d$$

$$F_o = 0,039 \cdot 261,8^2 \cdot \frac{24,6}{1000}$$

$$F_o = \underline{65.76 \text{ N}}$$

$F_o$  – odstředivá síla [N],  $m_d$  – hmotnost držáku plátků [kg],  $r_d$  – vzdálenost těžiště držáku [mm]

Rychlost otáčení držáku

$$v_d = \frac{\pi \cdot r_d \cdot n}{30000}$$
$$v_d = \frac{\pi \cdot 24,6 \cdot 2500}{30000}$$
$$v_d = \underline{6,44 \text{ m/s}}$$

$v_d$  – rychlost otáčení držáku [m/s]

Výpočet dostředivé síly

$$F_d = \frac{m_d \cdot v_d^2}{r_d}$$
$$F_d = \frac{0,039 \cdot 6,44^2}{\frac{24,6}{1000}}$$
$$F_d = \underline{65,75 \text{ N}}$$

$F_d$  – dostředivá síla držáku [N]

Podmínka mezi odstředivou a dostředivou silou

$$F_d = F_o$$

Podmínka souhlasí.

Výpočet třecího úhlu ( $f_z = 0,2$ )

$$\varphi' = \operatorname{actg} \left( \frac{f_z}{\cos \frac{\beta}{2}} \right)$$
$$\varphi' = \operatorname{actg} \left( \frac{0,2}{\cos \frac{60}{2}} \right)$$
$$\varphi' = \underline{13^\circ}$$

$\varphi'$  - třecí úhel závitu [°],  $\beta$  – úhel profilu metrického závitu [°],  $f_z$  – součinitel smykového tření závitu [-]

Výpočet úhlu stoupání (  $P_{hM5} = 0,8$  mm,  $d_{2M5} = 4,48$  mm)

$$\psi = \arctg\left(\frac{P_{hM5}}{\pi \cdot d_{2M5}}\right)$$

$$\psi = \arctg\left(\frac{0,8}{\pi \cdot 4,48}\right)$$

$$\psi = \underline{\underline{3,25^\circ}}$$

$\psi$  – úhel stoupání závitu [°],  $P_h$  - stoupání závitu [mm],  
 $d_2$  – střední průměr závitu šroubu [mm]

Podmínka samosvornosti šroubu

$$\varphi' > \psi$$

$13^\circ > 3,25^\circ$  podmínka byla splněna

Vypočet napětí šroubu v tahu

$$\sigma_t = \frac{F_o}{\frac{\pi \cdot d_{3M5}^2}{4}}$$

$$\sigma_t = \frac{65,76}{\frac{\pi \cdot 4,019^2}{4}}$$

$$\sigma_t = \underline{\underline{5,18 \text{ MPa}}}$$

$d_3$  – malý průměr závitu šroubu [mm],  $\sigma_t$  – napětí v tahu [MPa]

Výpočet napětí šroubu v krutu

$$\tau_k = \frac{F_o \cdot \tg(\varphi' + \psi) \cdot \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi \cdot d_{3M5}^3}{16}}$$

$$\tau_k = \frac{65,76 \cdot \operatorname{tg}(13 + 3,25) \cdot \frac{4,48}{2}}{\frac{\pi \cdot 4,019^3}{16}}$$

$$\tau_k = \underline{\underline{3,36 \text{ MPa}}}$$

$\tau_k$  – napětí v krutu [MPa]

Výpočet redukovaného napětí

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_t^2 + 4\tau_k^2}$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{5,18^2 + 4 \cdot 3,36^2}$$

$$\sigma_{red} = \underline{\underline{8,48 \text{ MPa}}}$$

$\sigma_{red}$  – redukované napětí [MPa]

Vypočet součinitele bezpečnosti ( $R_e = 640 \text{ Mpa}$ )

$$K_s = \frac{R_e}{\sigma_{red}}$$

$$K_s = \frac{640}{8,48}$$

$$K_s = \underline{\underline{75,47}}$$

$K_s$  – součinitel bezpečnosti [-],  $R_e$  – mez kluzu v tahu

Výpočet nosné hloubky závitu ( $d_{M5} = 5 \text{ mm}$ ,  $D_{1M5} = 4,134 \text{ mm}$ )

$$H_{1M5} = d_{M5} - D_{1M5}$$

$$H_{1M5} = 5 - 4,134$$

$$H_{1M5} = \underline{\underline{0,866 \text{ mm}}}$$

$H_1$  – nosná hloubka závitu [mm],  $d$  – velký průměr závitu šroubu [mm],

$D_1$  – malý průměr závitu matice [mm]

Výpočet počtu potřebných závitů k udržení držáku (  $P_D = (100 \div 120) \text{ Mpa}$  )

$$z_p = \frac{F_o}{\pi \cdot d_{2M5} \cdot H_{1M5} \cdot P_D}$$

$$z_p = \frac{65.76}{\pi \cdot 4,48 \cdot 0,866 \cdot 100}$$

$$z_p = \underline{0,054} \text{ závitů}$$

$z_p$  – potřebný počet závitů [-],  $P_D$  - dovolený měrný tlak [MPa]

Výpočet výšky matice

$$h = z_p \cdot P_h$$

$$h = 0,054 \cdot 0,8$$

$$h = \underline{0,0432}$$

$h$  – výška matice [mm]

Výpočet počtu závitů na nejužším místě na těle ořezávací hlavy ( $L_{zt} = 4,5 \text{ mm}$ )

$$z = \frac{L_{zt}}{P_h}$$

$$z = \frac{4,5}{0,8}$$

$$z = 5,6 \text{ závitů}$$

$L_{zt}$  – nejkratší délka závitu u držáku plátků [mm]

Podmínka, při které je počet závitu dostačující

$$z > z_p$$

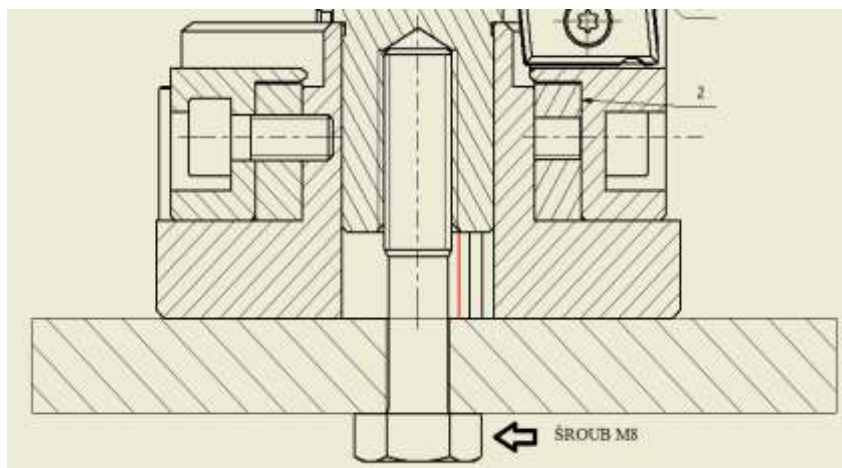
$$5,6 > 0,0432$$

V nejužším místě těla je 5 závitů a tento počet závitů je dostačující k udržení držáku



## 4.2. Pevnostní výpočty šroubu M8

Tento šroub drží celou frézovací hlavu připevněnou k pohonu. Vypočítáme, jestli udrží celou hlavu na pohonu (Obr. 25).



Obr. 25 Pozice šroubu M8

Výpočet krouticího momentu motoru (  $P = 1.7 \text{ kW}$  ,  $n = 2500 \text{ ot/min}$  )

$$M_k = \frac{30 \cdot P \cdot 1000}{\pi \cdot n}$$

$$M_k = \frac{30 \cdot 1700}{\pi \cdot 2500}$$

$$M_k = \underline{6,49 \text{ Nm}}$$

$P$  – výkon motoru [ $\text{kW}$ ],  $M_k$  – kroutící moment [ $\text{Nm}$ ]

Výpočet celkové síly působící na ořezávací hlavu ( $d_c = 63 \text{ mm}$ )

$$F_c = \frac{2 \cdot M_k}{\frac{d_c}{1000}}$$

$$F_c = \frac{2 \cdot 6,49}{\frac{63}{1000}}$$

$$F_c = \underline{206,14 \text{ N}}$$

$F_c$  – celková síla působící na ořezávací hlavu [ $\text{N}$ ]

$d_c$  – celkový průměr ořezávací hlavy [ $\text{mm}$ ]

Výpočet třecího úhlu ( $f_z = 0,2$ )

$$\varphi' = \operatorname{actg} \left( \frac{f_z}{\cos \frac{\beta}{2}} \right)$$

$$\varphi' = \operatorname{actg} \left( \frac{0,2}{\cos \frac{60}{2}} \right)$$

$$\varphi' = \underline{\underline{13^\circ}}$$

Výpočet úhlu stoupání ( $P_{hM8} = 1,25 \text{ mm}$ ,  $d_{2M8} = 7,188 \text{ mm}$ )

$$\psi = \operatorname{arctg} \left( \frac{P_{hM8}}{\pi \cdot d_{2M8}} \right)$$

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{1,25}{\pi \cdot 7,188}$$

$$\psi = \underline{\underline{3,17^\circ}}$$

Podmínka samosvornosti šroubu

$$\varphi' > \psi$$

$$13^\circ > 3,17^\circ \quad \text{podmínka byla splněna}$$

Vypočet napětí šroubu v tahu

$$\sigma_t = \frac{F_c}{\frac{\pi \cdot d_{3M8}^2}{4}}$$

$$\sigma_t = \frac{206,14}{\frac{\pi \cdot 6,466^2}{4}}$$

$$\sigma_t = \underline{\underline{6,28 \text{ MPa}}}$$

Výpočet napětí šroubu v krutu

$$\tau_k = \frac{F_c \cdot \operatorname{tg}(\varphi' + \psi) \cdot \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi \cdot d_{3M8}^3}{16}}$$

$$\tau_k = \frac{206,14 \cdot \operatorname{tg}(13 + 3,17) \cdot \frac{7,188}{2}}{\frac{\pi \cdot 6,466^3}{16}}$$

$$\tau_k = \underline{4,05 \text{ MPa}}$$

Výpočet redukovaného napětí

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_t^2 + 4\tau_k^2}$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{6,28^2 + 4 \cdot 4,05^2}$$

$$\sigma_{red} = \underline{10,25 \text{ MPa}}$$

Vypočet součinitele bezpečnosti ( $R_e = 640 \text{ Mpa}$ )

$$K_s = \frac{R_e}{\sigma_{red}}$$

$$K_s = \frac{640}{10,25}$$

$$K_s = \underline{62,44}$$

Výpočet nosné hloubky závitu ( $d_{M8} = 8 \text{ mm}$ ,  $D_{1M8} = 6,647 \text{ mm}$ )

$$H_{1M8} = d_{M8} - D_{1M8}$$

$$H_{1M8} = 8 - 6,647$$

$$H_{1M8} = \underline{1,353 \text{ mm}}$$

Výpočet počtu potřebných závitů k udržení držáku ( $P_D = (100 \div 120) \text{ Mpa}$ )

$$z_p = \frac{F_c}{\pi \cdot d_{2M8} \cdot H_{1M8} \cdot P_D}$$

$$z_p = \frac{206,14}{\pi \cdot 7,188 \cdot 1,353 \cdot 100}$$

$$z_p = \underline{0,067} \text{ závitů}$$

Výpočet výšky matice

$$h = z_p \cdot P_h$$

$$h = 0,067 \cdot 1,25$$

$$h = \underline{0,084} \text{ mm}$$

Výpočet počtu závitů na nejužším místě na těle ořezávací hlavy ( $L_{zc} = 20\text{mm}$ )

$$z = \frac{L_{zc}}{P_h}$$

$$z = \frac{20}{1,25}$$

$$z = 16 \text{ závitů}$$

$L_{zc}$  - délka závitů při upnutí ořezávací hlavy

Podmínka při které je počet závitů dostačující

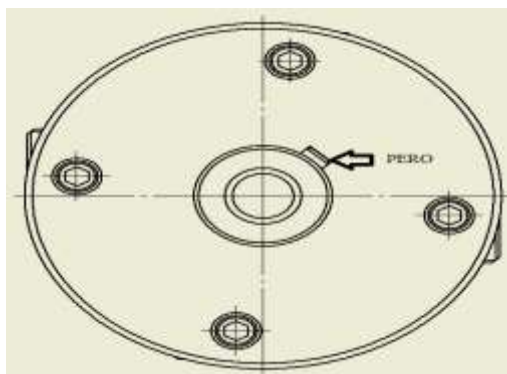
$$z > z_p$$

$$16 > 0,084$$

V místě kde je ořezávací hlava uchycena je 16 závitů a tento počet závitů je dostačující k udržení.

### 4.3. Pevnostní výpočet pera

Pero přenáší rotační pohyb ze středové hřídele na cele tělo hlavy. Kontrolujeme, jestli pero přeneseme krouticí moment motoru (Obr. 26).



Obr. 26 Pozice pera

Výpočet síly působící mezi bokem drážky v hřídeli a perem.

$$F_{p1} = \frac{M_k}{\frac{d_p}{2} - \frac{t}{2}}$$

$$F_{p1} = \frac{6,49}{\frac{18}{2} - \frac{2,4}{2}}$$

$$F_{p1} = \underline{\underline{0,83N}}$$

$F_p$ - síly působící mezi perem a drážkami [N],  $d_p$  – průměr hřídele na které je pero nasazeno [mm],  $t$  – hloubka drážky [mm]

Výpočet síly působící mezi bokem drážky v náboji a perem.

$$F_{p2} = \frac{M_k}{\frac{d_p}{2} - \frac{t_1}{2}}$$

$$F_{p2} = \frac{6,49}{\frac{18}{2} - \frac{1,6}{2}}$$

$$F_{p2} = \underline{\underline{0,79N}}$$

$t_1$  – hloubka drážky v náboji [mm],

Výpočet plochy, na kterou působí síla

$$S_1 = t_1 \cdot l'$$

$$S_1 = 1,6 \cdot 6$$

$$S_1 = \underline{\underline{9,6mm^2}}$$

$l'$  - délka přímé části pera [mm],  $S$  – plocha na kterou síla působí [mm<sup>2</sup>]

Vypočet tlaku mezi bokem drážky v hřídeli a perem.

$$P_{p1} = \frac{F_{p1}}{S_1}$$

$$P_{p1} = \frac{0,83}{9,6}$$

$$P_{p1} = \underline{\underline{0,08645MPa}}$$

$P_p$  – Tlak působící na pero a drážku pro pero [MPa]

Podmínka, za které je tlak na pero v toleranci

$$P_{p1} \leq P_D$$

$$0,08645 \text{ MPa} \leq 120 \text{ MPa}$$

Podmínka splněna

Výpočet plochy, na kterou působí síla

$$S_2 = t \cdot l$$

$$S_2 = 2,4 \cdot 10$$

$$S_2 = \underline{\underline{24 \text{ mm}^2}}$$

l- délka celého pera [mm]

Vypočet tlaku mezi bokem drážky v hřídeli a perem.

$$P_{p2} = \frac{F_{p2}}{S_2}$$

$$P_{p2} = \frac{0,79}{24}$$

$$P_{p2} = \underline{\underline{0,0329 \text{ MPa}}}$$

Podmínka, za které je tlak na pero v toleranci.

$$P_{p1} \leq P_D$$

$$\underline{\underline{0,0329 \text{ MPa}}} \leq 120 \text{ MPa}$$

Podmínka splněna

Vypočet pera na smyk

$$F_t = \frac{M_k}{\frac{d_p}{2}}$$

$$F_t = \frac{6,49}{\frac{18}{2}}$$

$$F_t = \underline{0,72 \text{ N}}$$

$F_t$ - síla působící na pero [N]

Výpočet plochy, na kterou síla působí.

$$S_p = b \cdot l$$

$$S_p = 4 \cdot 10$$

$$S_p = \underline{40 \text{ mm}^2}$$

Výpočet dovoleného napětí pera ( $R_e = 150 \text{ MPa}$ )

$$\tau_d = \frac{R_e}{K_s}$$

$$\tau_d = \frac{150}{2}$$

$$\tau_d = \underline{75 \text{ MPa}}$$

$\tau_d$  – dovolené smykové napětí [Mpa]

Výpočet skutečného napětí

$$\tau_s = \frac{F_t}{S_p}$$

$$\tau_s = \frac{0,72}{40}$$

$$\tau_s = \underline{0,018 \text{ MPa}}$$

$\tau_s$  – skutečné smykové napětí [Mpa]

Podmínka při namáhání na smyk

$$\tau_s \leq \tau_d$$

$$0,018 \text{ MPa} \leq 75 \text{ MPa}$$

Podmínka byla splněna.

## 5. MKP ANALÝZA

Pro analýzu jsem vybral držáky SK plátku. Při analýze vycházím z předběžných rozměrů. Ve výpočtu jsem si zjistil odstředivou sílu  $F_o$  a další dvě síly jsem si zvolil. První je  $F_z$  a druhá je  $F_F$ . Tyto síly použiji při pevnostní analýze držáku vytvořenou v programu Autodesk Inventor 2014.

### 5.1. Držák č. 1

Model držáku pro frézování hrdla před olemováním (Obr. 27).



Obr. 24 Držák č. 1

Síť držáku:

Síť držáku jsem nastavil na 0,02 x délka komponenty. Tuto hustotu sítě jsem zvolil proto, aby nejmenší část držáku byla rozdělena na dva prvky (Obr. 28).



Obr. 28 Model držáku se  
zobrazenou sítí



Zatížení a vazby:

Gravitační a odstředivá síla působí na bok držáku. Sílu  $F_z$  a  $F_F$  jsem umístil na stykovou plochu plátku a držáku (Obr. 29). Dále jsem na držák umístil ideální vazby. Jedna je umístěna na ploše jako odstředivá síla a další dvě jsou definovány na kolmých stěnách k  $F_o$ . Poslední je umístěna v otvoru pro šroub a na spodní straně držáku (Obr. 30, 31).

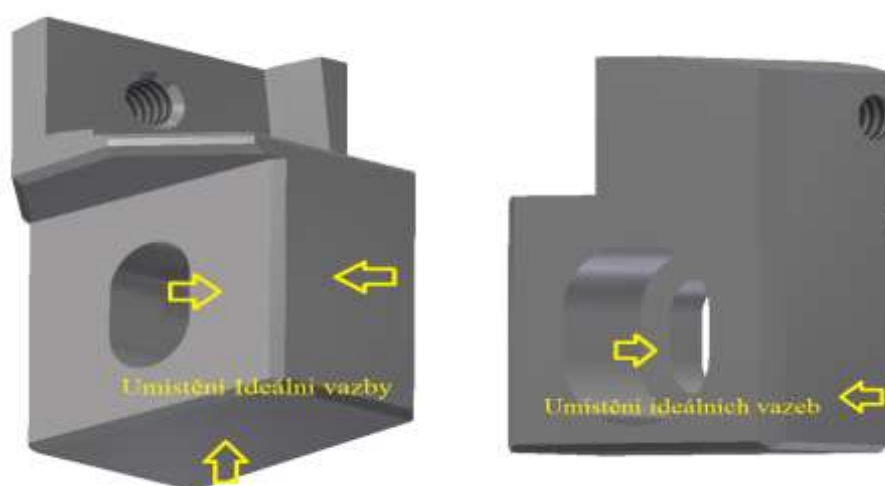
$F_o = 66 \text{ N}$  – vypočítaná síla působící při otáčení držáku

$F_z = 1000 \text{ N}$  – první zvolená síla působící při frézování

$F_F = 100 \text{ N}$  – druhá zvolená síla působící při frézování

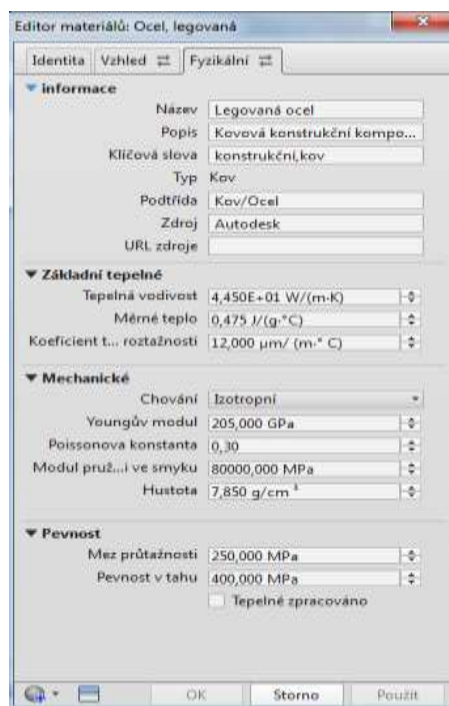


Obr. 29 Umístění sil



Obr. 30, 31 Umístění ideálních vazeb

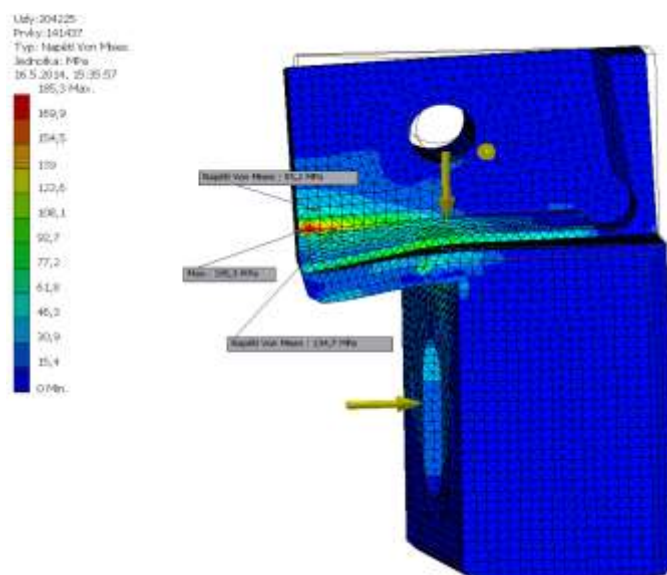
Materiál jsem zvolil vysokolegovanou ocel, ostatní vlastnosti (Obr. 32).



Obr. 32 Fyzikální vlastnosti materiálu

Výsledné napětí Von Mises:

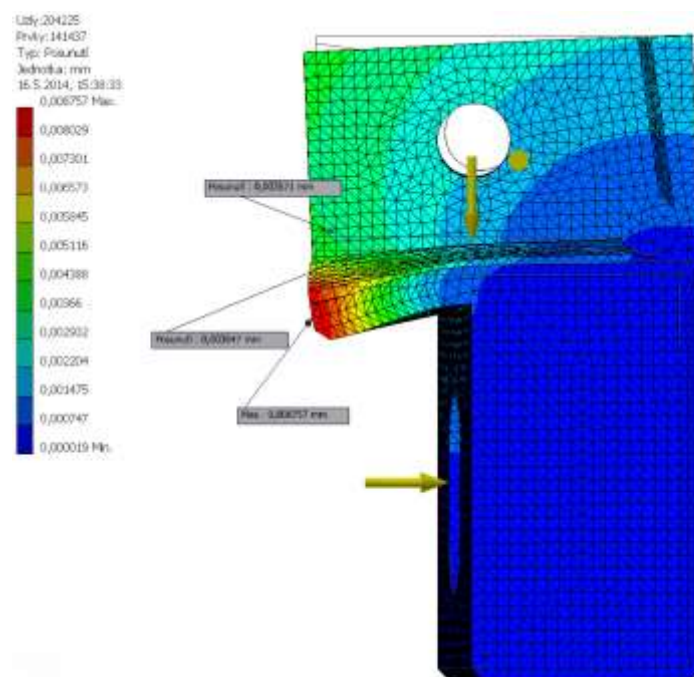
Z obrázku lze vyčíst výsledné napětí na držáku. Maximální napětí dle Von Mises je 185.3 MPa a nachází se v rohové části držáku (Obr. 33). Jde vidět, že tahle hodnota nepřesahuje dovolené napětí (Obr. 32) a materiál tohle napětí vydrží.



Obr. 33 Výsledné napětí podle Von Mises

Výsledné posunutí:

Z obrázku lze vyčíst výsledné posunutí. Maximální posunutí je 0.008757 mm a nachází se na špičce držáku (Obr. 34). Materiál držáku je dostatečně pevný a nebude se prohýbat. Geometrie je vyhovující a nemusí se měnit. Kdyby posunutí přesáhlo 0,1 mm, museli bychom udělat nějaké změny.



Obr. 34 Výsledné posunutí při zatížení

## 5.2. Držák č. 2

Model držáku pro frézování hrdla po olemování (Obr. 35).



Obr. 35 držák č. 2

Sít' držáku:

Nastavení sítě je stejné jak u držáku č. 1 a to je 0,02 x délka komponenty (Obr. 36).



Obr. 36 Model držáku se zobrazenou sítí

Zatížení a vazby:

Zatížení držáku jsem volil podobně jako u první verze. Velikost sil se nezměnila. Jediná odstředivá síla působí pod úhlem a je kolmá na dosedací plochu SK plátku. Ostatní síly působí ve stejném směru. Ideální vazby jsou umístěny na stejných plochách, jako u držáku č. 1 (Obr. 37).



Obr. 37 Umístění sil

Materiál je vysokolegovaná ocel ostatní vlastnosti (Obr. 38).

Informace	
Název	Legovaná ocel
Popis	Kovová konstrukční kompo...
Klíčová slova	konstrukční kov
Typ	Kov
Podtřída	Kov/Ocel
Zdroj	Autodesk
URL zdroje	

Základní tepelné	
Tepelná vodivost	4,450E+01 W/(m·K)
Měrné teplo	0,475 J/(g·°C)
Koeficient t... roztažnosti	12,000 µm/(m·°C)

Mechanické	
Chování	Izotropní
Youngův modul	205,000 GPa
Poissonova konstanta	0,30
Modul pruž...i ve smyku	80000,000 MPa
Hustota	7,850 g/cm³

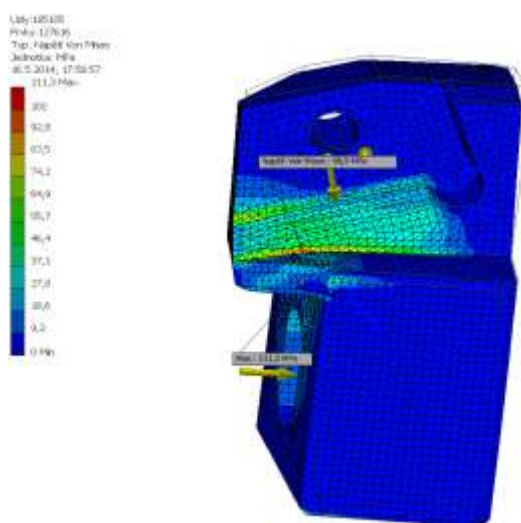
  

Pevnost	
Mez průtažnosti	250,000 MPa
Pevnost v tahu	400,000 MPa
<input type="checkbox"/> Tepelně zpracováno	

Obr. 38 Fyzikální vlastnosti materiálu

Výsledné napětí Von Mises:

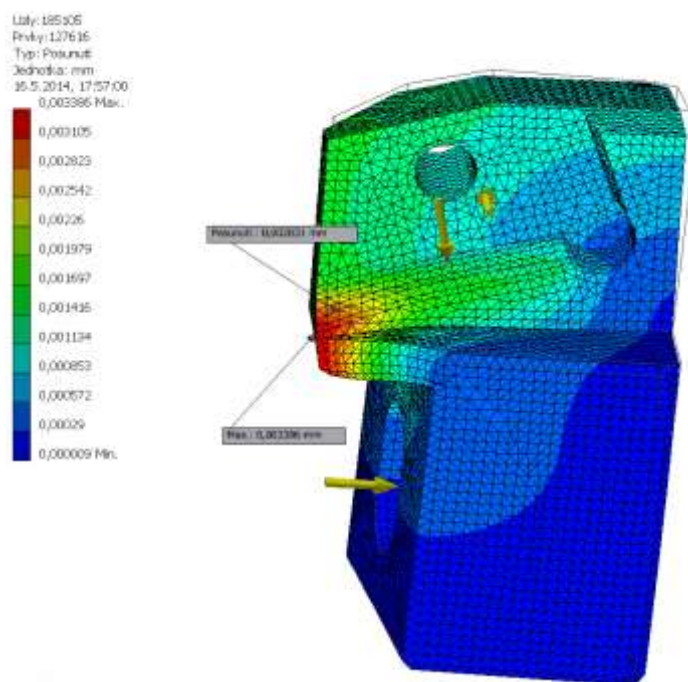
Na rozdíl od prvního se nám výsledné napětí zmenšilo na 111,3 Mpa. Napětí se nám snížilo díky tomu, že síla při frézování působí pod úhlem a do silnějšího materiálu. Jde vidět, že tahle hodnota nepřesahuje dovolené limity materiálu (Obr. 38) a ten by měl odolat tomuto napětí. (Obr. 39).



Obr. 39 Výsledné napětí podle Von Mises

Výsledné posunutí:

Posunutí na držáku č. 2 dosáhlo velikosti 0,003386 mm (Obr. 40). Toto posunutí je na rohu držáku. Z obrázku lze vyčíst, že geometrie držáku byla dobře navrhnutá a nemusí se měnit.



Obr. 40 Výsledné posunutí

### 5.3. Závěr MKP analýzy

Díky MKP analýze jsem zjistil, že na držák č. 1 a držák č. 2 nepůsobí tak velké napětí, které by vedlo ke změně materiálu nebo k povrchovým úpravám. Dále jsem zjistil, že držáky nemají tak velký průhyb, který by vedl ke změně geometrie. Tyto průhyby budou ještě sníženy tím, že převislá část držáku se bude dotýkat hlavy nástroje.

## 6. Závěr

V bakalářské práci jsem se zabýval konstrukčním návrhem frézovací hlavy pro FEA. Základem práce bylo zjednodušení a urychlení při nastavování frézovací hlavy ve výrobě. Stará hlava se nastavovala vkládáním podložek. Díky této hlavě by se měla výroba zefektivnit. Tím se zkrátí prostoje stroje a vyrobí se více aerosolových lahviček. Dalším prvkem bylo sjednotit hlavy pro více operací. Kdyby se pokazila frézovací hlava na jiném stroji, mohla by se vzít z vedlejšího. Tím by se eliminoval prostoj i finanční ztráty z prostoje stroje. Další výhodou je, že by se nemuselo skladovat více typů hlav, ale stačila by jedna universální s vyměnitelnými držáky. Na začátku jsem musel upravit frézovací hlavu, aby se do ní daly upnout dva druhy držáků. Dále jsem řešil problematiku, jak nastavovat držáky plátků, aby byly nastavitelné jak výškově tak i průměrově. Při frézování hrdla jsem musel dodržet, že všechny čtyři držáky budou stejné, vyměnitelné a zároveň nastavitelné v požadovaném rozmezí. U druhého držáku jsem musel, dosáhnou určitého úhlu a vzdálenosti od středícího kroužku. Díky tomuto vylepšení se zpřesní nastavení při frézování.

### Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu Ing. O. Učňovi, Ph.D. a firmě na výrobu aerosolových lahviček za rady a názory při konstrukčním návrhu frézovací hlavy pro FEA.



## 7. Přílohy

- [1] ND-1111-1461-1002-000 SESTAVA S DRŽÁKEM Č.1
- [2] ND-1111-1461-1003-000 SESTAVA S DRŽÁKEM Č.2
- [3] ND-1111-1461-1001-001 OŘEZÁVACÍ HLAVIČKA
- [4] ND-1111-1461-1001-002 NASTOVOVACÍ ELEMENT
- [5] ND-1111-1461-1001-003 STŘEDOVÁ HŘIDEL
- [6] ND-1111-1461-1001-004 STŘEDÍCÍ POUZDRO
- [7] ND-1111-1461-1001-005 STŘEDOVÁ PODLOŽKA
- [8] ND-1111-1461-1001-007 DRŽÁK PLÁTKU Č.1
- [9] ND-1111-1461-1001-008 DRŽÁK PLÁTKU Č.2

## 8. Zdroje

1. Neuman aluminium. *Slug Production*. [Online] [Citace: 29. březen 2014.] <http://www.neuman.at/gb/SlugProduction>.
2. Metal Packaging Manufacturers Association. *Education - Aerosols Aluminium*. [Online] [Citace: 19. březen 2014.] <http://www.mpma.org.uk/pages/data/aerosolaluminium.pdf>.
3. Spoje pro přenos kroutího momentu z hřídele na náboj. In: Ústav pro konstruování [online]. 2013 [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://old.uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/5CK/cv10/Vr10.pdf>
4. Části a mechanismy strojů: části spojovací. In: Katedra částí a mechanismu strojů [online]. 2013 [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://www.347.vsb.cz/files/kal01/skripta-castispojovaci-2014.pdf>
5. Strojnické tabulky. Úvaly: Albra - pedagogické nakladatelství, 2005. ISBN 80-7361-011-6.